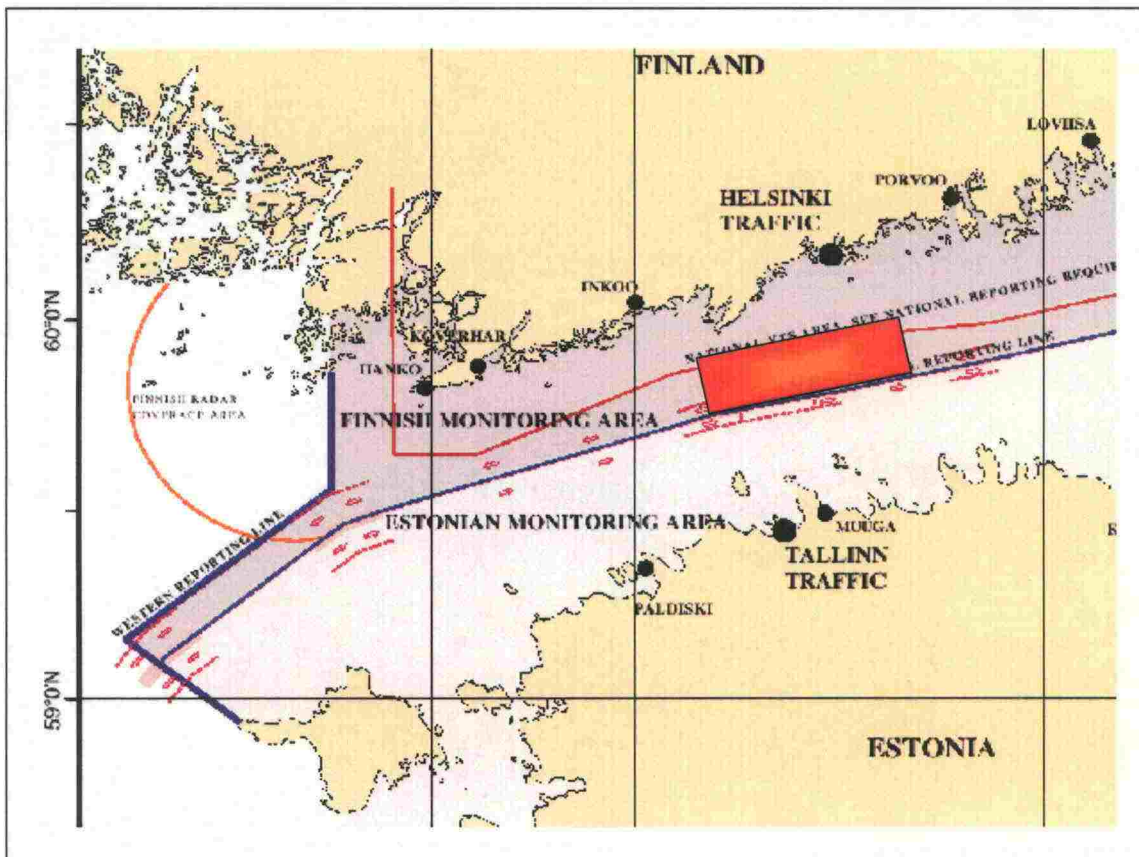


# SUOMENLAHDEN RISTEÄVÄN LIIKENTEEEN RISKI- INDIKAATTORIN KEHITTÄMINEN

ENSIMMÄINEN VAIHE



**Merenkululaitos**

Helsinki 2005  
ISBN 951-49-2009-6  
ISSN 1456-7814

# **Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittäminen**



9824



**Merenkulkulaitos**

Helsinki 2005  
ISBN 951-49-2009-6  
ISSN 1456-7814

# **Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittäminen**

Ensimmäinen vaihe

## **Development of the risk indicator of the crossing traf- fic on the Gulf of Finland**

First phase



INTERREG III A • PHARE CBC

Etelä-Suomen rannikkoseutu Viro

Tämä selvitys on laadittu osana Etelä-Suomen rannikkoseudun Interreg III A-ohjelmaa. VTT on vastannut hankkeesta ja se on toteutettu Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoituksen ja Merenkululaitoksen käyttöön asetetun kansallisen rahoituksen turvin.

Julkaisujen jakelu:  
Merenkululaitos  
Kirjasto  
Porkkalankatu 5, 00180 Helsinki  
Puh. 0204 48 4356  
[kirjasto@fma.fi](mailto:kirjasto@fma.fi)  
Vapaasti tulostettavissa Merenkululaitoksen  
Internet-sivuilla [www.fma.fi](http://www.fma.fi)





Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) <b>Arto Nokelainen, VTT</b>		Julkaisun laji <b>Merenkululaitoksen julkaisuja</b>	
		Toimeksiantaja <b>Merenkululaitos</b>	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi <b>Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittäminen – ensimmäinen vaihe</b>			
Tiivistelmä <p>Hankkeen tavoitteena on ollut käynnistää Suomenlahden riski-indikaattorin kehittäminen. Riski-indikaattori tulee kattamaan koko Suomenlahden meriliikenteen ja indikaattori on tarkoitus integroida Suomenlahden meriliikenteen GOFREP -järjestelmään. Nyt käsillä olevassa ensimmäisessä vaiheessa on keskitytty pääosin risteävän liikenteen yhteentörmäysriskin riippuvuuteen liikennevirran tiheydestä ja alusdimensioista.</p> <p>Hankkeessa on rakennettu Suomenlahden risteävää liikennettä kuvaava simulointimalli, jota voidaan käyttää strategisena työkaluna selvitetessä riskitason muutosta, kun liikenteen keskeiset tekijät muuttuvat. Simulointimallia käytetään säädettäessä risteävän liikenteen riski-indikaattorin perustaso sekä kasvavaa riskiä kuvaava suhteellinen asteikko.</p> <p>Riskin kasvaessa sen tulisi heijastua myös GOFREP -järjestelmässä toimiviin osapuoliin. Meriliikennekeskusten, alusten päälliköiden, ympäristö- ja satamaviranomaisten tulisi reaaliaikaisesti tiedostaa milloin liikennöinti tapahtuu korkeamman riskin vallitessa. Konfliktitilanteiden lukumäärällä on positiivinen riippuvuus todellisten onnettomuuksien määrän kanssa. Riskiteorian mukaan mitä enemmän läheltä piti -tilanteita esiintyy sitä suurempi on myös onnettomuuksien määrä pitkällä aikavälillä.</p> <p>Simuloinnilla selvitettiin tapausta, jossa pitkittäisliikennettä kasvatettiin yhdellä ja kahdella 300 m:n tankkerilla/suunta. Lisäys näytti kasvattavan konfliktien määrää siten, että pienillä liikennemäärillä prosentuaalinen kasvu oli suurin. Esimerkiksi perusliikenne-määrillä 4-14 alusta/tunti konfliktien määrän kasvu on 40-100 %.</p> <p>Simulointitulosten hyödyntäminen edellyttää, että liikenteen ohjausjärjestelmät tuottavat liikennemäärä- sekä laivojen nopeus- ja pituustietoa.</p> <p>Kehittämistyön seuraavaan vaiheeseen suunnitellut jatkokehitystehtävät ovat alusteknisten ja infrastruktuuriominaisuuksien lisääminen riski-indikaattoriin. Toisen vaiheen kehittämistyö voidaan jakaa menetelmäkehitykseen, sovellukseen ja meriliikenteen ohjauksen asiantuntijoille järjestettävään demonstraatioon.</p>			
Avainsanat (asiasanat) <b>Riski, riski-indikaattori, simulointi, risteävä liikenne, Suomenlahti</b>			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero <b>Merenkululaitoksen julkaisuja 3/2005</b>		ISSN <b>1456-7814</b>	ISBN <b>951-49-2009-6</b>
Kokonaissivumäärä <b>34</b>	Kieli <b>suomi</b>	Hinta	Luottamuksellisuus <b>julkinen</b>
Jakaja <b>Merenkululaitos</b>		Kustantaja <b>Merenkululaitos</b>	



Authors (from body; name, chairman and secretary of the body) <b>Arto Nokelainen, VTT Building and transport</b>	Type of publication <b>Merenkululaitoksen julkaisuja</b>		
	Assigned by <b>Finnish Maritime Administration</b>		
	Date when body appointed		
Name of the publication <b>Development of the risk indicator of the crossing traffic on the Gulf of Finland – first phase</b> <b>(Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittäminen)</b> Abstract <p><b>An objective of this project has been to start up a development of a risk indicator of the Gulf of Finland. The risk indicator shall cover the whole sea traffic on the Gulf of Finland. The indicator will be integrated into GOFREP -system of the sea traffic of the Gulf of Finland. Now, in the first phase it mainly has been concentrated in a dependency of a collision risk on a traffic flow and vessel dimensions of the crossing sea traffic.</b></p> <p><b>In this project a simulation model describing the crossing traffic on the Gulf of Finland has been constructed. The simulation model can be used as a strategic tool in finding changes of the risk level when the key elements of the sea traffic are varying. The simulation model will be utilised for setting up a base level of the risk indicator and a relative scale describing the increasing risk.</b></p> <p><b>The increasing risk would also affect co-partners operating in the GOFREP-system. Sea traffic centres, shipmasters, port and environment authorities would wise up to the condition when traffic will run during prevailing of the higher risk.</b></p> <p><b>The next stage of the development work is to enhance the risk indicator by adding elements of the vessel technique and the infrastructure into it. The development of the second phase can be divided into</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>methodical development,</b></li><li>- <b>application and</b></li><li>- <b>demonstration for authorities of monitoring and advising of the sea traffic.</b></li></ul>			
Keywords <b>risk, risk indicator, simulation, intersecting traffic, Gulf of Finland</b>			
Miscellaneous			
Serial name and number <b>Merenkululaitoksen julkaisuja 3/2005</b>		ISSN <b>1456-7814</b>	ISBN <b>951-49-2009-6</b>
Pages, total <b>34</b>	Language <b>Finnish</b>	Price	Confidence status <b>Public</b>
Distributed by <b>Finnish Maritime Administration</b>		Published by <b>Finnish Maritime Administration</b>	

# ALKUSANAT

Raportti käsittelee Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittämisen ensimmäistä vaihetta.

Hanke on laadittu osana Etelä-Suomen rannikkoseudun Interreg III A -ohjelmaa. VTT on vastannut hankkeesta ja se on toteutettu Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoituksen ja Merenkululaitoksen käyttöön asetetun kansallisen rahoituksen turvin.

Hankkeen valvojana on toiminut apulaisjohtaja Taneli Antikainen Merenkululaitoksesta. Hänen lisäksi johto- ja ohjausryhmään ovat Merenkululaitoksesta kuuluneet toimialapäällikkö Hanna Linjos-Maunula ja apulaisjohtaja Kari Kosonen.

Virolaisena yhteistyösapuolena hankkeessa on toiminut Tallinnan satama, jossa työstä on vastannut kehitysjohtaja Avo Kaasik.

Tutkimus on tehty VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkimusyksikössä. Tämän raportin on laatinut erikoistutkija Arto Nokelainen, joka on myös vastannut tutkimuksen toteuttamisesta. Erikoistutkija Tony Rosqvist ja tutkija Sanna Sonninen VTT Tuotteet ja tuotannosta ovat antaneet asiantuntijapanoksen riski-indikaattorin jatkokehitystä silmällä pitäen.

# Sisällysluettelo

ALKUSANAT .....	4
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Tausta .....	7
1.2 Meriliikenteen valvonta.....	7
1.3 Risteävän liikenteen riskit .....	8
1.4 Yhteistyön tarve .....	9
2 HANKKEEN TAVOITE.....	10
3 SUOMENLAHDEN RISTEÄVÄN LIIKENTEEN RISKI-INDIKAATTORIN KEHITTÄMINEN OSANA KOKONAISRISKI-INDIKAATTORIA.....	11
3.1 Tausta .....	11
3.2 Riski-indikaattorin kehittämisvaiheet.....	11
3.2.1 Ensimmäinen vaihe .....	11
3.2.2 Toinen vaihe.....	12
3.2.3 Kolmas vaihe: järjestelmätekninen ratkaisu .....	12
4 RISTEÄVÄN LIIKENTEEN SIMULOINTIMALLI .....	13
4.1 Tausta .....	13
4.2 Simulointimalli.....	13
4.3 Konfliktitilanteet .....	17
4.4 Perusriskitaso, liikennemäärät ja alusten pituudet .....	20
5 SIMULOINTI JA TULOKSET .....	23
5.1 Tausta .....	23
5.2 Simulointi .....	23
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30
6.1 Yleistä.....	30
6.2 Jatkotoimenpiteet.....	31
6.2.1 Menetelmäkehitys .....	32
6.2.2 Sovellus.....	32



6.2.3 Demonstraatio .....	32
6.2.4 Kommentteja jatkotoimenpiteisiin .....	32
LÄHDELUETTELO .....	34

## LIITTEET

Liite A: Risteävän liikenteen konfliktien määrä liikenteen kasvaessa

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Suomenlahden alusliikenteen, kuljetetun tavarán ja matkustajien määrä on kasvanut merkittävästi Neuvostoliiton hajoamisen jälkeen. Ennusteiden mukaan määrät jatkavat edelleen voimakasta kasvuaan. Turvallisuuden kannalta on huolestuttavaa, että risteävän liikenteen onnettomuusalttius kasvaa.

Pohjois-eteläsuuntaisessa liikenteessä matkustajaliikenne on kasvanut 6 miljoonan matkustajan tasolle vuodessa. Vastaava tavaraliikenteen määrä on noin 6 miljoonaa tonnia. Suomenlahden pitkittäisen liikenteen voimakkaan kasvun kanssa risteävän liikenteen turvallisuuden merkitys kasvaa yhä tärkeämmäksi.

Liikenteen kasvu korostuu myös ympäristön kannalta öljykuljetusten vahinkojen uhkana. Tallinnan Muugan öljysataman vientimäärät ovat kasvaneet lähes 25 milj. tonniin vuositasolla /1, sivu 61/. Primorskin, Pietarin ja Vysotskin öljykuljetusten määrä on kasvanut yli 50 miljoonan tonnin. Vuoteen 2010 mennessä Venäjän Suomenlahden satamien öljykuljetusten ennustetaan kasvavan noin 130 miljoonan tonnin tasolle vuodessa /1/. Venäjällä uusia öljysatamia on kaavailtu Lomonosoviin, Batareinayaan, Vistinoon, Gorkiin ja Ust-Lugaan.

Baltian maiden liittyminen Euroopan unioniin ennakoi aivan uuden tyyppistä päivittäistavaran kuljetuksiin liittyvää liikennettä. Tämä kasvattaa entisestään Suomen ja Viron välistä poikittaisliikennettä ja synnyttää ehkä täysin uusia kuljetuskonsepteja. Erityisesti Tallinnan satama on varautumassa laajentamaan toimintojaan tätä kehitystä silmällä pitäen.

## 1.2 Meriliikenteen valvonta

Suomi, Viro ja Venäjä ovat alkaneet kesällä 2004 yhteistyössä valvoa Suomenlahden liikennettä. Tällöin otettiin käyttöön Suomenlahden kansainvälisen merialueen kattava pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä GOFREP<sup>1</sup>, joka on osa tulevaa VTMS<sup>2</sup> -järjestelmää.

---

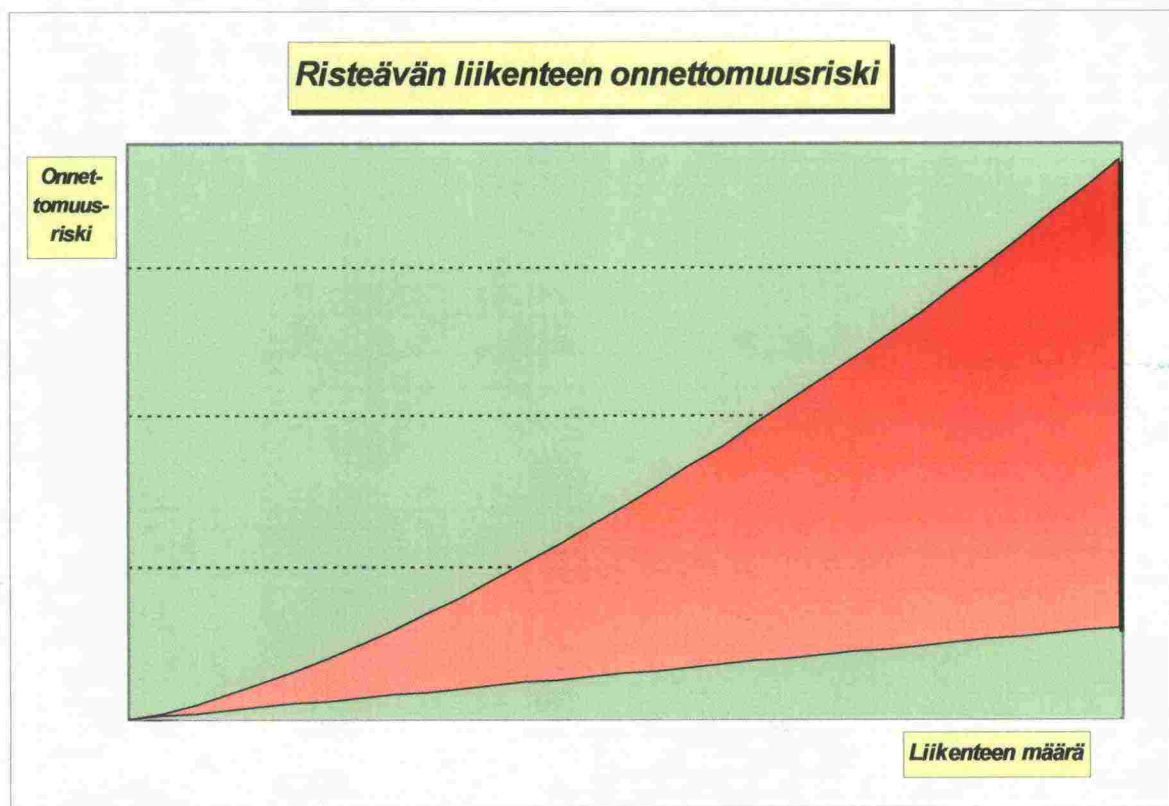
<sup>1</sup> GOFREP (Gulf of Finland Reporting) on alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä, joka kattaa Suomenlahden kansainvälisen merialueen.

<sup>2</sup> Vessel Traffic Management and Information System

GOFREP -järjestelmään kuuluvilla työasemilla nähdään alusliikenteen tilannekuva. Keskus voi antaa aluksille ohjeita ja neuvoja sopivimmasta reitistä ja nopeudesta. Ohjaus on luonteeltaan passiivista mutta informoivaa. Varsinaiset ohjaustoimet tekee kuitenkin aluksen päällikkö tilannearvionsa mukaan. Tämän kaltaiset järjestelyt edistävät turvallisuutta, mutta *risteävä liikenne ja sen kasvu puolestaan kasvattaa alttiutta onnettomuuksien syntyyn.*

### 1.3 Risteävän liikenteen riskit

Risteävän alusliikenteen kasvaessa voidaan perustellusti olettaa, että myös onnettomuusriski kasvaa. Mutta, kuten kuvassa 1 on havainnollistettu, kasvaako se lineaarisesti vai eksponentiaalisesti? Jos nykyinen liikennemäärä kasvaa esimerkiksi kaksinkertaiseksi niin kasvaako onnettomuusriski kaksin-, kolmin-, nelinkertaiseksi vai vieläkin suuremmaksi kuin liikenteen kasvu? Aiempi tai käynnissä oleva tutkimus ei kuitenkaan anna Suomenlahden *tulevaisuuden risteävän liikenteen riskin suuruudesta* riittävää tietoa. Risteävän liikennemäärän lisäksi riskiin vaikuttavat alusten ominaisuudet, tuuli-, jää- ja näkyvyysolot.



Kuva 1. Risteävän liikenteen mahdollinen onnettomuusriskin vaihtelu.



## **1.4 Yhteistyön tarve**

Risteävän liikenteen turvallisuuden kehittäminen on noussut esille eri osapuolten kanssa käytyjen keskustelujen yhteydessä. Lisäksi hankkeeseen on antanut virikettä Merenkululaitoksen alustava visio telematiikan hyödyntämisestä meriliikenteen hallinnassa. Turvallisuuden kehitystyö edellyttää joka tapauksessa yhteistyötä Suomenlahden alueen maiden välillä.

## 2 Hankkeen tavoite

Hankkeen tavoitteena on ollut käynnistää Suomenlahden riski-indikaattorin kehittäminen. Riski-indikaattori tulee kattamaan koko Suomenlahden meriliikenteen ja indikaattori on tarkoitus integroida käyttöön otettuun Suomenlahden meriliikenteen GOFREP -järjestelmään.

Nyt esillä olevassa ensimmäisessä vaiheessa on kehitetty simulointimalli, jolla voidaan selvittää risteävän liikenteen yhteentörmäysriskin riippuvuutta liikennevirran tiheydestä ja alusdimensioista.

Riskin kasvaessa sen tulisi heijastua myös GOFREP-järjestelmässä toimiviin osapuoliin. Meriliikennekeskusten, alusten päälliköiden, ympäristö- ja satamaviranomaisten ***tulisi reaaliaikaisesti tiedostaa milloin liikennöinti tapahtuu korkeamman riskin vallitessa***. Esimerkiksi vähän vastaavalla tavalla kuin tienkäyttäjää varoitetaan jäisestä kelistä, jolloin ajotapa muuttuu tai ainakin pitäisi muuttua varovaisemmaksi.

Indikaattorin tulee toimia ***reaaliajassa*** ja sen tulee olla ***kaikkien*** GOFREP:n osapuolten käytettävissä. Tähän on täydet mahdollisuudet, koska järjestelmän informaatio tulee sisältämään mm:

- risteävän liikenteen määrän määriteltävällä alueella,
- tuulitiedot,
- jääolotiedot ja
- näkyvyytiedot.

Reaaliaikaisella riski-indikaattorilla voidaan tukea esimerkiksi meriliikennekeskusten työtä, kun risteävän liikenteen laivoille annetaan navigointiin liittyviä ohjeita ja suosituksia.

## **3 Suomenlahden risteävän liikenteen riski-indikaattorin kehittäminen osana kokonaisriski-indikaattoria**

### **3.1 Tausta**

Käyttöön otetun Suomenlahden GOFREP -järjestelmän tuottamaa informaatiota kannattaa hyödyntää edelleen meriliikenneturvallisuuden kehittämisessä.

Eri osapuolten välillä käytyjen keskustelujen perusteella on nähty, että kehitystyö tulee kohdistaa laajemmalle kuin pelkästään risteävään liikenteeseen. Riski-indikaattorin tulee kattaa koko Suomenlahden meriliikenne.

Riski-indikaattorin voidaan katsoa riippuvan useasta osatekijästä ja niiden keskinäisestä vuorovaikutuksesta:

- liikennevirran ominaisuudet (määrä, nopeus, aikavälit, alusdimensiot),
- infrastruktuuri (väylästä, turvalaitteet ja alusliikenteen ohjausjärjestelmät),
- alustekniset ominaisuudet (rakenne, ohjausominaisuudet) ja
- luonnonolosuhteet (tuuli-, näkemä- ja jääolot).

### **3.2 Riski-indikaattorin kehittämisvaiheet**

On perusteltua jakaa riski-indikaattorin kehittäminen kolmeen vaiheeseen siten, että edellisten vaiheen tuloksia hyödynnetään myöhemmissä vaiheissa. Nyt käsillä oleva hanke kattaa kehitystyön ensimmäisen vaiheen.

#### **3.2.1 Ensimmäinen vaihe**

Nyt käsillä olevassa ensimmäisessä vaiheessa keskitytään riski-indikaattorin riippuvuuteen risteävien liikennevirtojen ominaisuuksista. Tutkimusmenetelmänä käytetään simulointitekniikkaa. Simulointimallin keskeisiä ominaisuuksia ovat, että

- malli on riippumaton liikennemääristä ja muista keskeisistä muuttujista (soveltuu mm. eri liikennemäärille),
- mallilla saatavia tuloksia voidaan verrata tilastoitaviin tietoihin ja
- mallilla saatavat tulokset ovat hyödynnettävissä toisessa kehitysvaiheessa.



### 3.2.2 Toinen vaihe

Toisessa vaiheessa keskitytään riski-indikaattorin riippuvuuteen alustekniikan ja infrastruktuurin ominaisuuksista. Toisen vaiheen tuloksena saadaan valittujen kohtaamisalueiden yhteentörmäysriskin simulointityökalu, jonka avulla voidaan priorisoida meriliikenteen ohjauksen kehitystyötä.

### 3.2.3 Kolmas vaihe: IWRIS®<sup>3</sup> –teknologian kehittäminen

Kolmannessa vaiheessa kehitetään nk. IWRIS® -teknologiaa. IWRIS® -teknologian piirteitä ovat:

- Suomenlahden meriliikenteen riskin indikointi dynaamisesti kehittyvän liikennekuvan perusteella,
- Suomenlahdella eri aikaan ja eri paikassa sijaitsevien riskikohtien indikointi meriliikenneohjaajien työaseman valvontanäytöllä käyttäjien kanssa yhteistyössä määritellyllä tavalla,
- GOFREP -toiminnan tuottaman liikennetiedon sekä sää-, aallokko- ja jäätietojen hyödyntäminen riskin laskennassa/indikoinnissa,
- eri alustyypeille arvioitujen ohjailu- ja crash-stop -ominaisuuksien hyödyntäminen riskin laskennassa,
- oppiva järjestelmä:
  - kerää datapankkia alusten eri reiteillä käyttämistä liikeradoista – ennustaa todennäköisimmän liikeradan,
  - järjestelmä pystyy ennustamaan, että muuttuuko riski ja mihin suuntaan halutulla alueella/väyläosalla esim. puolen tunnin kuluttua,
- palvelee reaaliajassa GOFREP -toimintaa,
- ei-reaaliajassa palvelee väylä- ja liikennesuunnittelua:
  - uusien terminaalien ennustetut liikennevirrat voidaan syöttää järjestelmään ja paikallistaa mahdolliset riskialueet (esim. öljyvuodon kannalta suurimman riskin alueet),
- voidaan käyttää myös koulutus- ja tutkimuskäyttöön.

---

<sup>3</sup> IWRIS® (Intelligent Waterway Risk Indicator System) on luonteeltaan VTS (Vessel Traffic Service) -operaattoreiden operatiivista päätöksentekoa tukeva teknologia, joka monitoroi yhteentörmäysriskiä koko Suomenlahden alueella. IWRIS® hyödyntää liikenteen telemetriaa, aluskohtaisia crash-stop -ominaisuuksia, säätietoja, jäätietoja, ja PortNet -järjestelmää (meriliikenteen tietojärjestelmä) riskitason määrittämisessä.

## **4 Risteävän liikenteen simulointimalli**

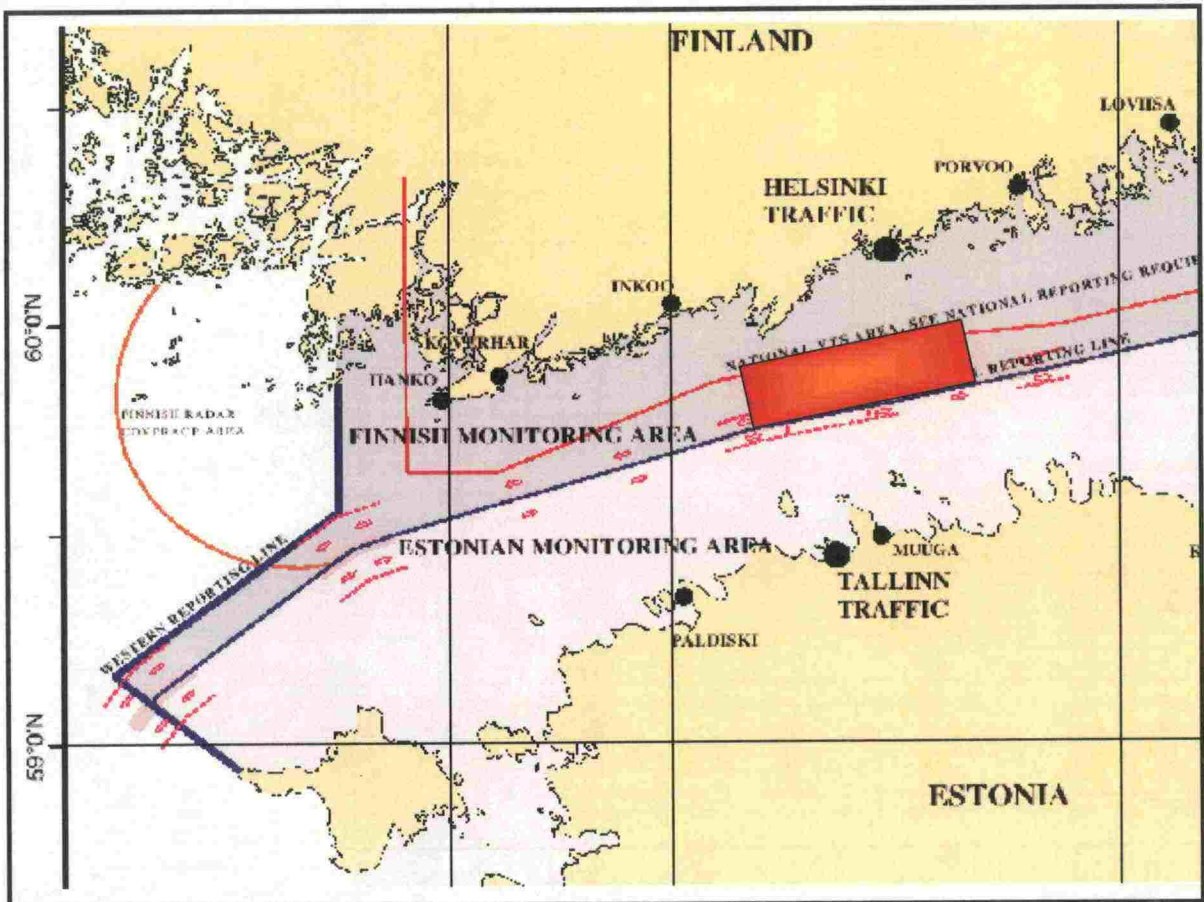
### **4.1 Tausta**

Nyt käsillä olevassa ensimmäisessä vaiheessa on toteutettu riski-indikaattorin rakentaminen ja fokusoiduttu selvittämään risteävän liikenteen määrän ja aluskoon muutosten vaikutusta onnettomuusriskiin. Menetelmänä on käytetty simulointitekniikkaa. Ajallisesti esimerkiksi tunnin pituista liikennettä simuloimalla voidaan tehdä vertailuja varioimalla haluttuja muutujia kuten risteävien alusten lukumäärää, alusten pituutta, nopeutta ja aikavälejä ja saada näin selville muutosten vaikutus onnettomuusalttiuteen.

Turvallisuustoimien (esim. muuttuvat nopeussuositukset tai rajoitukset) oikean mitoituksen kannalta on ensi arvoisen tärkeä tietää miten onnettomuusalttius muuttuu alusliikenteen kasvaessa ja alusten ominaisuuksien muuttuessa uudessa käyttöön otetussa ohjausympäristössä.

### **4.2 Simulointimalli**

Simulointia varten on rakennettu tapahtumapohjainen simulointimalli, joka kuvaa pelkistetysti Suomenlahden risteävää liikennettä kuvassa 2 havainnollistetulla Suomen ja Viron rannikoiden välisellä merialueella.



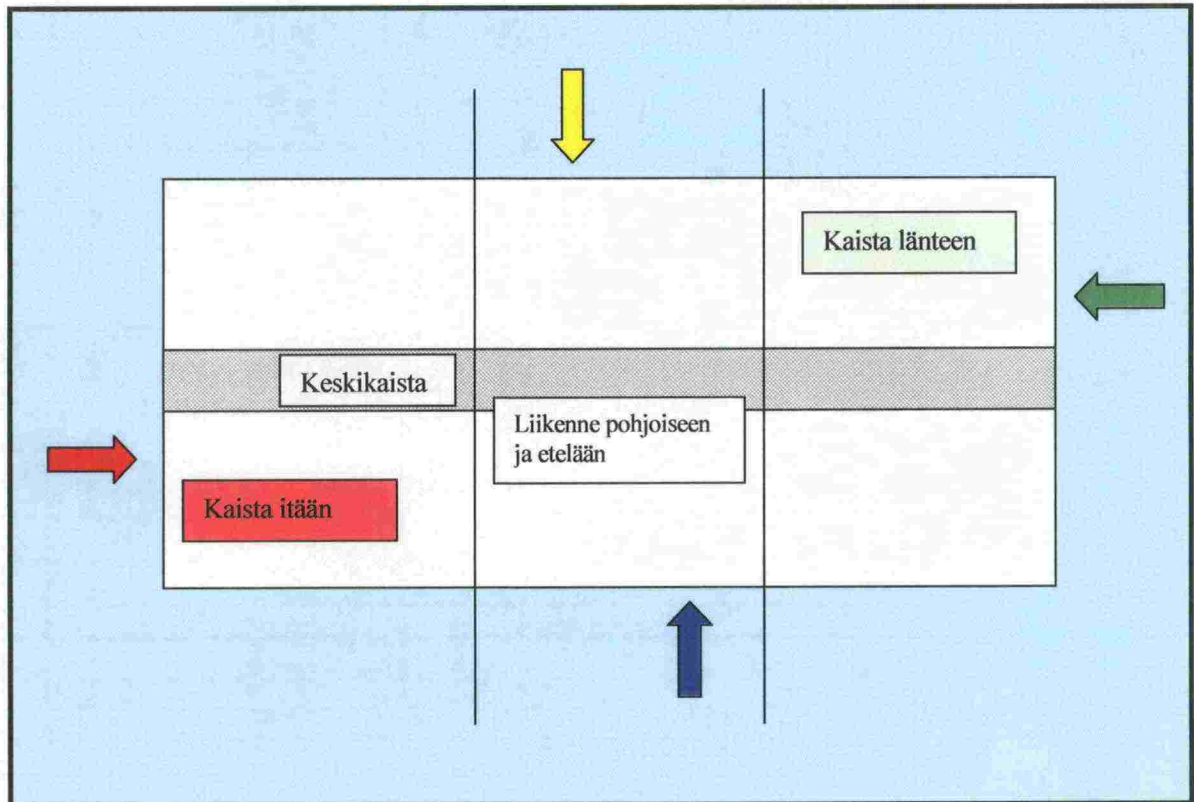
Kuva 2. Suomenlahden risteävän liikenteen tarkastelualue. Karttapohjan lähde Merenkul-  
kulaitos, 2004.

Malli perustuu kuvan 3 mukaiseen järjestelyyn, jossa itään päin kulkeva liikenne käyttää omaa kaistaansa, länteen menevä omaa kaistaansa ja risteävä pohjoiseen ja etelään suuntautuva liikenne omaa kaistaansa.

Itään ja länteen suuntautuvien kaistojen leveys on 2 825 metriä. Keskikaista on leveydeltään 1 850 m. Keskikaistaa ei käytetä pitkittäissuuntaiseen liikennöintiin. Pohjois-eteläsuuntaisen väylän leveys on 20 000 m. Näin on määritelty kaksi risteysaluetta, joiden sivujen pituudet ovat 20 000m ja 2 825 m.

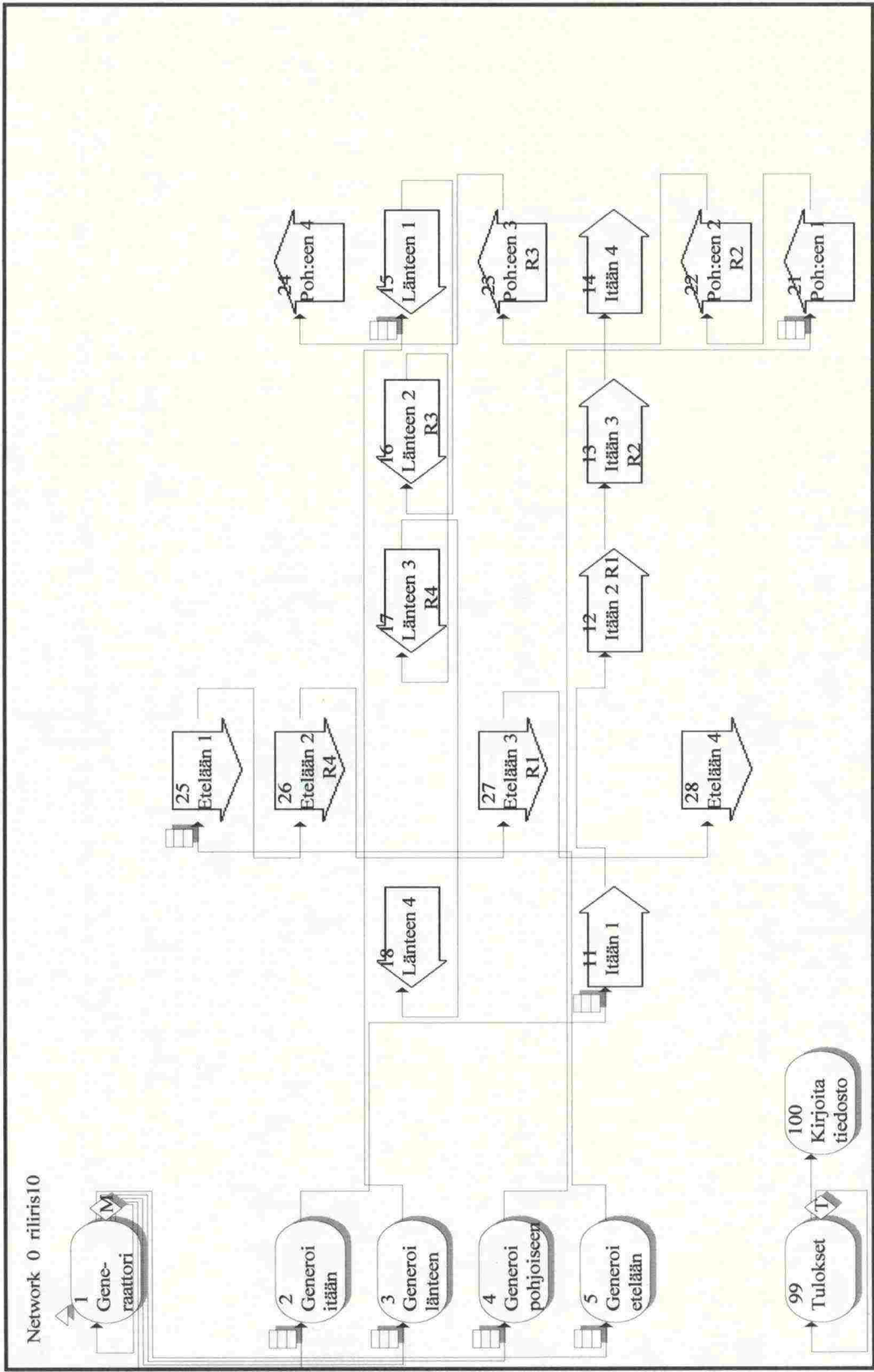
Mallissa on varauduttu myös tilanteeseen, jossa pohjois-eteläsuuntaiselle liikenteelle on varattu omat kaistansa. Tällöin risteysalueita on neljä ja joiden sivujen pituudet ovat 10 000 m ja 2 825 m.





Kuva 3. Risteävän liikenteen risteysalue.

Simulointimalli on toteutettu Micro Saint -ohjelmistolla[2]. Mallin avulla voidaan testata eri tekijöiden vaikutusta risteävän liikenteen onnettomuusriskin muutokseen. Mallin kaavio on havainnollistettu kuvassa 4 ja se perustuu edellä esitellyn kuvan 3 mukaiseen asetelmaan.



Kuva 4. Risteävän liikenteen simulointimalli.

Pääpiirteissään mallin toimintaperiaate on seuraava. Malliin generoidaan liikenne erikseen jokaiseen suunnan alkuun: itään, länteen, pohjoiseen tai etelään. Aikajaksoksi voidaan valita mikä ajanjakso hyvänsä, esimerkiksi tuntiliikenne. Tuntiliikennettä voidaan perustellusti pitää käytännöllisimpänä tarkastelujen suorittamiseen. Malliin tulevien perättäisten laivojen aikaväli noudattaa eksponentiaali jakauma (esim., jos liikennemäärä on 30 laivaa tunnissa, niin aikavälijakauma sekunneissa on  $\text{expon}(3600/30)$ ). Tämän lisäksi malliin voidaan syöttää aikataulun mukaan liikennöivät alukset. Jokaiseen alukseen liittyy seuraavat lähtötiedot:

- tuloaika (päivän nro, tunti, minuutti, sekunti),
- aluksen kulkema reitti,
- aluksen pituus (metriä, saadaan pituusjakaumasta),
- tulokohta väyläosalle (metriä, tasainen satunnaisjakautuma) ja
- nopeus (m/s, saadaan nopeusjakaumasta).

Aikataulun mukaisesti kulkeville laivoille voidaan tarvittaessa antaa haluttu yksilöllinen nopeus.

### 4.3 Konfliktitilanteet

Aluksen saapuessa risteysalueen rajalle sen navigoimaa reittiä verrataan erikseen jokaisen jo risteysalueella olevan muun aluksen reittiin. Näille vertailupareille lasketaan reitien risteyskohta ja ajat, jolloin kummankin aluksen keula on risteyskohdassa. Samoin lasketaan alusten pituuksista riippuvat ajat, jolloin aluksen perä on ohittanut risteyskohdan. Tähän tilanteeseen liittyy kaksi määriteltävää konfliktia:

- alus törmää toisen aluksen kylkeen (ellei ohjauksen muutosta tehdä) ja
- risteävien alusten ohituksen aikaväli on alle kriittisen rajan, ns. läheltä piti -tilanne, joka myös edellyttää ohjauksen muutoksen.

Jäljempänä olevilla kuvioilla on havainnollistettu konfliktitilanteiden määrittely. Kuvioissa on käytetty seuraavia symboleita:

- $t_1$  risteysalueelle saapuvan aluksen keula -aika vertailtavan aluksen reitin risteyskohdassa,
- $t_2$  risteysalueelle saapuvan aluksen perä ohittaa vertailtavan aluksen reitin risteyskohdan,
- $t_{v1}$  vertailtavan aluksen keula reitin risteyskohdassa,
- $t_{v2}$  vertailtavan aluksen perä ohittaa risteyskohdan.

Törmäys tapahtuu (jos ohjauksen muutosta ei tehdä), jos ainakin toinen ehto on voimassa:

$$(1) \quad t_{v1} < t_1 < t_{v2} \quad \text{tai}$$

$$(2) \quad t_1 < t_{v1} < t_2$$

Läheltä piti -tilanne tapahtuu, jos seuraavista ehdoista ainakin toinen on voimassa:

$$(3) \quad t_{v1} > t_2 \text{ ja}$$

$$t_{v1} - t_2 < \text{kriittinen raja}_1, \quad \text{tai}$$

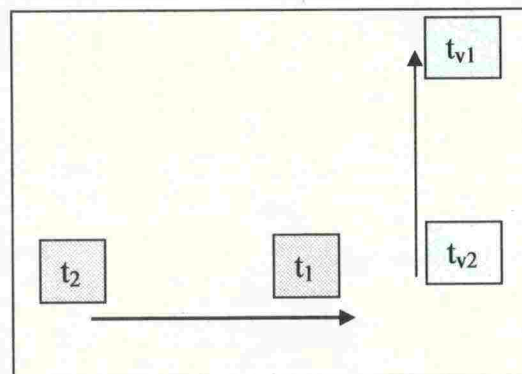
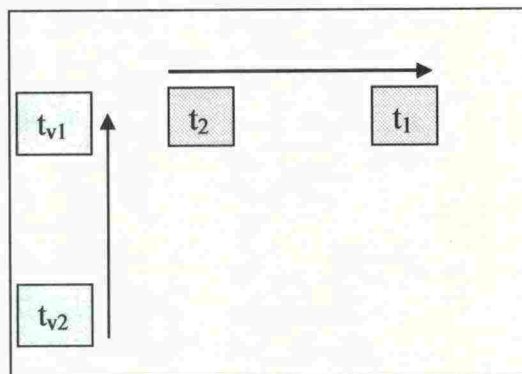
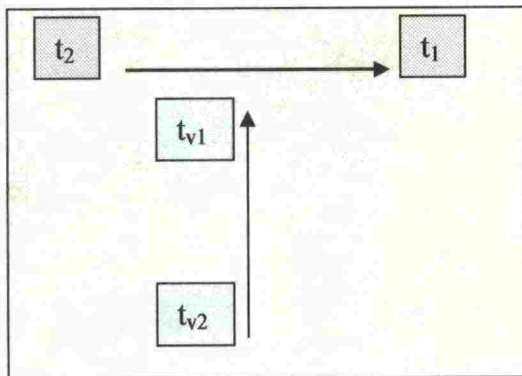
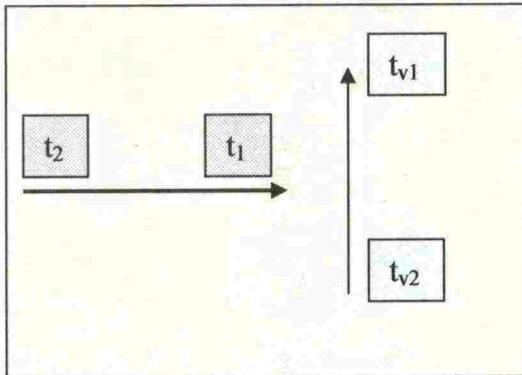
$$(4) \quad t_1 > t_{v2} \text{ ja}$$

$$t_1 - t_{v2} < \text{kriittinen raja}_2$$

Läheltä piti -tilanteen kriittisten rajojen määrittelemiseen vaatii perusteellista harkintaa. On ilmeistä, että kriittinen raja ei ole suinkaan yksikäsitteinen. Lienee perusteltua, että kriittinen raja on dynaaminen ja riippuu voimakkaasti alusten pituudesta ja nopeudesta. Mitä suurempi nopeus ja pituus (esim. alusten yhteenlaskettu pituus) sitä suuremman tulee kriittisen rajan olla. Esimerkiksi tapauksessa, jossa suuri öljytankkeri on osallisena, kriittisen rajan tulee olla korkein. Kriittisen rajan määrittely on syytä kiinnittää vasta asiantuntijoiden piirissä käydyn pohdinnan perusteella.

Edellä kuvattujen konfliktitilanteiden lukumäärällä on positiivinen riippuvuus todellisten onnettomuuksien määrän kanssa. Riskiteorian mukaan mitä enemmän esiintyy läheltä piti-tilanteita, sitä suurempi on myös onnettomuuksien määrä pitkällä aikavälillä. Yksittäinen onnettomuus, onneksi, on hyvin harvinainen. Sen vuoksi yksittäisen onnettomuuden ennustaminen on mahdoton tehtävä, koska tapaukseen liittyy yleensä inhimillisten tekijöiden lisäksi myös monia muita satunnaistekijöitä.





**Alus törmää** vertailtavaan alukseen,

jos  $t_{v1} < t_1 < t_{v2}$ , jossa aika

$t_1$  jolloin aluksen keula risteyksessä,

$t_2$  jolloin aluksen perä risteyksessä

$t_{v1}$  jolloin vertailtavan aluksen keula risteyksessä

$t_{v2}$  jolloin vertailtavan aluksen perä risteyksessä

**Alle jääminen**, vertailtava alus törmää alukseen,

jos  $t_1 < t_{v1} < t_2$

**Läheltä piti –tilanteet:**

Alus kulkee vertailtavan aluksen editse (“alta pois”)

jos  $t_{v1} > t_2$

ja  $t_{v1} - t_2 < \text{kriittinen raja}_1 = 180 \text{ s}$

Alus kulkee vertailtavan aluksen taitse (“hipoo perää”)

jos  $t_1 > t_{v2}$

ja  $t_1 - t_{v2} < \text{kriittinen raja}_2 = 30 \text{ s}$

## 4.4 Perusriskitaso, liikennemäärät ja alusten pituudet

Risteävän liikenteen edellisessä kohdassa määriteltyjen konfliktien määrä riippuu merkittävästi liikennemäärä- ja alusten pituusjakaumasta. Alusten nopeusjakauma puolestaan vaikuttaa konfliktien vakavuusasteeseen. Toisin kuin maantieliikenteessä niin meriliikenteessä jo alhaisemmilla nopeuksilla tapahtuva konflikti on vakavuudeltaan suhteellisesti suurempi kuin maantieliikenteessä.

Riski-indikaattori on luonteeltaan enemmänkin suhteellinen kuin kvantitatiivinen. Sen vuoksi perusriskitason tulee perustua normaaliolojen liikenteeseen, joka tapahtuu hyvässä olosuhteissa. Liikennemäärien ja alusten dimensioiden kasvaessa riskitaso kasvaa, samoin kuin olosuhteiden muuttuessa (tuuli, näkyvyys, jääolot jne.).

Suomenlahden alusliikenteen keskimääräistä tuntiliikennettä voidaan arvioida oheisen taulukon 1 perusteella. Taulukon mukaan vuoteen 2010 mennessä keskimääräinen aluskäyntien lukumäärä kasvaisi 107 käynnistä lähes 150 käyntiin vuorokaudessa. Koska taulukon Helsingin ja Tallinnan luvuissa on mukana myös pohjois-etelä -suuntaiset aluskäynnit, niin pitkittäinen vuorokausiliikenne on mainittuja lukuja pienempi.

*Taulukko 1. Arvio aluskäynneistä Suomenlahden itäisissä satamissa[1][3].*

Satama	2000	2001	2010	Selitys arviolle (laskettu v. 2000 ja 2004 tilastoista)
Helsinki	11 398	11 461	15 300	*1,35 - Laajasalon tankkerit
Sköldvik	916	1 049	1 150	*1,25 vain tankkereita
Tolkkinen		144	145	
Loviisa		319	350	
Kotka	2 061	2 061	2 780	*1,35
Hamina	1 368	1 368	1 840	*1,35
Vysotsk		507	1 100	
Viipuri		715	1 050	
Primorsk	0	1	410	40 Mton (keskimääräinen laiva 97 500 t)
Pietari	9 016	10 000	13 500	*1,5 (arvio sisältää Lomonosovin 300 rahtialusta)
Lomonosov			115	öljykuljetukset arvio 2004, 4,5 Mton (keskimääräinen laiva 40 000 t)
Batareynaja	0	100	300	vain tankkereita
Gorki			170	öljykuljetukset arvio 2004, 4 Mton (keskimääräinen laiva 70 000 t)
Vistino			100	öljykuljetukset arvio 2004, 4 Mton (keskimääräinen laiva 40 000 t)
Ust-Luga	96	100	360	25 Mton, 4 Mton (keskimääräinen laiva 70 000 t)
Aseri	0	100	400	7,5 Mton (keskimääräinen laiva 25 000 t)
Kunda	600	600	700	*1,15
Tallinnan satamat	10 383	10 516	14 000	*1,35
<b>Yhteensä</b>	<b>35 838</b>	<b>39 041</b>	<b>53 770</b>	
<b>Keskim. aluskäyntiä/vrk</b>		<b>107,0</b>	<b>147,3</b>	

Tallinnan satama on arvioinut aluskäyntien kasvavan vuoden 2004 noin 13 000 käynnistä 16 000 käyntiin vuoteen 2010 mennessä. Taulukon 2 mukaan tämä merkitsee noin 23 %:n kasvua vuoden 2004 tasolta. Tallinnan sataman ennuste aluskäynneistä on kasvultaan optimistisempi kuin taulukossa 1 oleva ennuste.

Matkustajaliikenteestä johtuen poikittaisia aluskäyntejä vuorokaudessa on avoveden aikaan enemmän kuin jäätalven aikana. Vuoden 2004 keskimääräinen aluskäyntien määrä on 36 käyntiä/vrk, kun avoveden aikaan käyntejä on noin 50 käyntiä/vrk. Tämä havainnollistuu taulukossa 3, jossa on esitetty kesäkauden tyypillisen vuorokauden saapumisten ja lähtöjen frekvenssit tunneittain.

On kuitenkin huomattava, että varsinkin kesäaikaan kauppa-alusten lisäksi liikenteessä on paljon pienveneitä. Tällöin risteävän liikenteen koko määrä voi olla moninkertainen kauppa-alusten määrään verrattuna.

Tallinnan satamista vuonna 2003 lähteneiden laivojen pituusjakaumaa on havainnollistettu taulukossa 4. Tämä jakauma perustuu niin ikään avovesikauden yhden tavallisen vuorokauden liikenteeseen.

*Taulukko 2. Arvio aluskäyntien lukumäärästä Tallinnan satamissa, (Lähde: Tallinnan satama 2004).*

	Laivakäyntien lkm Tallinnan satamissa		
	2003	2004 <sup>arvio</sup>	2010 <sup>arvio</sup>
Koko vuosi	10 805	13 000	16 000
Maaliskuu	528	-	-
Kesäkuu	1 187	-	-
<b>Keskim. aluskäyntiä/vrk</b>	<b>29,6</b>	<b>35,6</b>	<b>43,8</b>



*Taulukko 3. Saapuneiden ja lähteneiden alusten frekvenssit tunneittain, (Lähde: Tallinnan satama 2004).*

klo	saapuneet 30.6.2004	lähteneet 27.6.2004
00-01	2	1
01-02	1	0
02-03	1	2
03-04	1	0
04-05	2	0
05-06	1	0
06-07	5	0
07-08	1	0
08-09	2	3
09-10	4	2
10-11	3	3
11-12	6	1
12-13	1	2
13-14	2	1
14-15	2	3
15-16	3	2
16-17	2	6
17-18	0	5
18-19	4	1
19-20	2	3
20-21	2	2
21-22	2	2
22-23	4	1
23-24	2	1
<b>Yhteensä</b>	<b>55</b>	<b>41</b>

*Taulukko 4. Tallinnan satamista lähteneiden alusten pituusjakauma, (Lähde: Tallinnan satama 2004).*

Lähteneet alukset 27.6.2004		
pituus (m)	laivoja	%
alle 50	3	7,3
50-75	3	7,3
75-100	15	36,6
100-150	13	31,7
150-200	5	12,2
200-	2	4,9
<b>Yhteensä</b>	<b>41</b>	<b>100,0</b>



## 5 Simulointi ja tulokset

### 5.1 Tausta

Kun harkitaan risteävän liikenteen riski-indikaattorin toimintaperiaatetta, on perusteltua säätää indikaattori tuntiliikenteen tarkastelun mukaiseksi. Toisin sanoen kun alukset todellisuudessa neljästä suunnasta lähestyvät määriteltä risteysaluetta niin liikennemäärä normeerataan sitä mukaa tuntiliikenteeksi. Tietyn suuruista tuntiliikennettä vastaa riskitaso, joka on määritetty simulointien tuloksena. Tulokset voidaan esittää taulukko-muotoisena. Jokaiselle tuntiliikenteen arvolle on määritetty riskitaso, joka on siis poimittavissa taulukosta (4-ulotteinen taulukko). Lisäksi joudutaan ottamaan huomioon myös alusten pituusjakauma, joka kasvattaa riskitaulukon ulottuvuuksien määrää.

Simuloinnin avulla saatavista tuloksista voidaan myös estimoida riskitason funktio. Siihen sijoittamalla liikenteen määrätieto ja alusten pituustieto voidaan riskitaso laskea suoraan.

### 5.2 Simulointi

Luvun 4 perusteella havaittiin, että vuoteen 2010 mennessä tarkasteltavan alueen kauppa-alusten kokonaisliikennemäärä määrä kasvaa noin 50 %.

Koska liikennemäärät/suunta ovat lukuarvoiltaan suhteellisen pieniä, kannattaa simuloinnissa lähteä yhden aluksen tuntiliikenteestä/suunta ja kasvattaa sitä yhdellä aluksella simulointikierrosta kohti. Vastaavasti kasvatetaan alusten pituusdimensiota. Tulosten keskiarvojen vakiinnuttamiseksi simulointeja pyritään toistamaan vähintään 30 kertaa jokaista arvoyhdistelmää kohti.

Kuvassa 5 on havainnollistettu konfliktien määrää, kun tuntiliikenne kasvaa 1 aluksesta 25 alukseen/suunta (yhteensä 100 alusta/tunti). Havaitaan, että riskitaso kasvaa kiihtyvästi liikennemäärän kasvaessa. Läheltä piti -tilanteen kriittisenä rajana on tässä käytetty 180 sekuntia, kun ohitus tapahtuu toisen aluksen keulan editse, ja 30 sekuntia, kun ohitus tapahtuu toisen aluksen perän taitse. Näitä riskimäärittelyjä tulee harkita asiantuntijapalaverissa.

On syytä vielä korostaa, että simuloinnin yhteydessä puhutaan läheltä piti -tilanteesta ilman ohjauksen muutosta. Käytännössä kuitenkin ohjauksen muutos tehdään tai ainakin pitäisi tehdä.

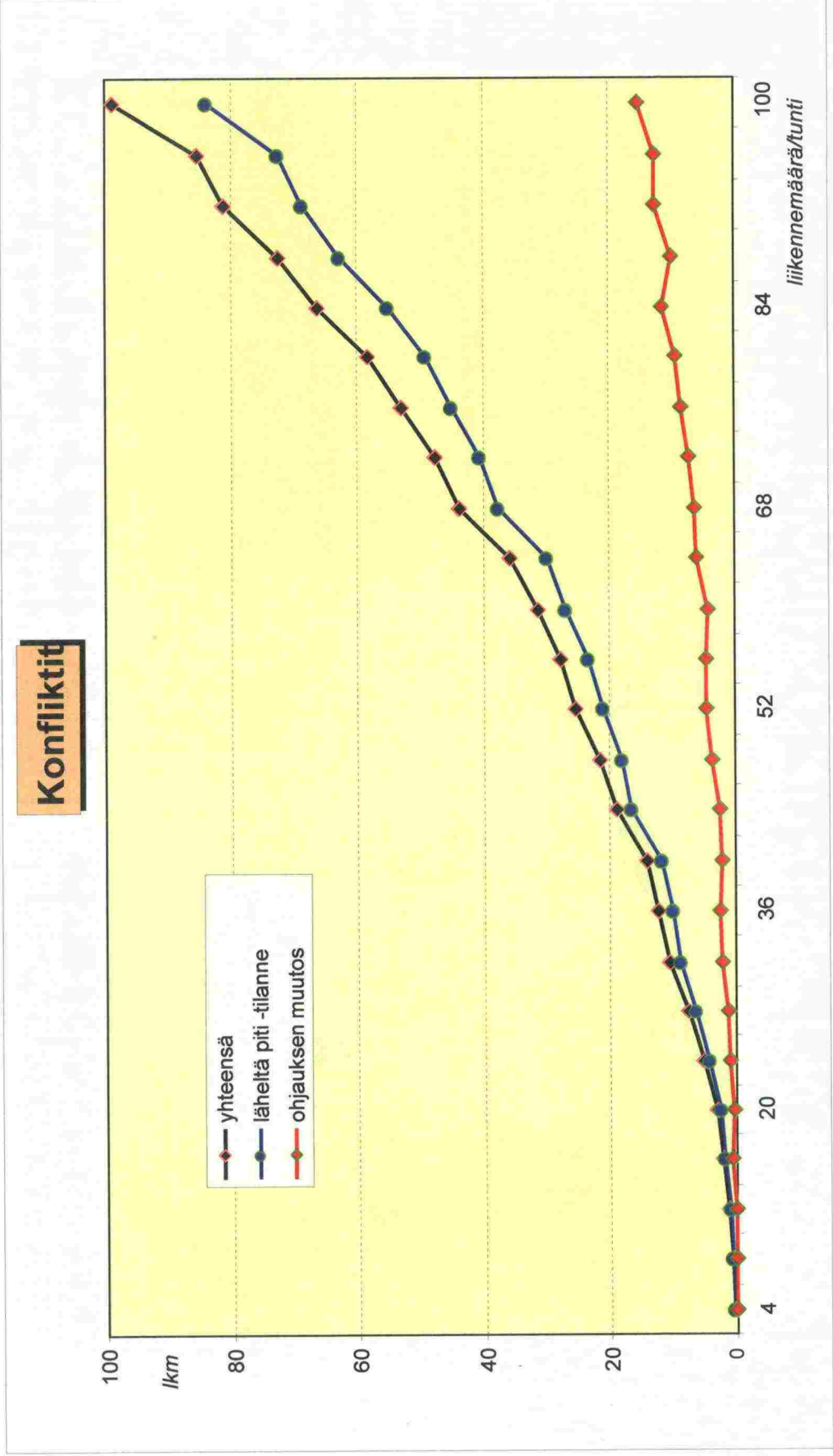
Itä-länsisuuntaisen liikenteen nopeus perustuu tasaiseen jakaumaan välillä 9–20 solmua ja pohjois-eteläsuuntaisen liikenteen 6–36 solmua. Alusten pituus perustuu tasaiseen jakaumaan välillä 40–200 metriä, ellei toisin mainita. Liikenne generoidaan malliin tuntiliikenteenä, jolloin yksittäiseen alukseen liittyvä informaatio on seuraava:

- reitti,
- tuloaika (aikaväli eksponentiaalisesti jakautunut tai aikataulun mukaan),
- nopeus (em. nopeusjakaumat),
- pituus (em. pituusjakauma) ja
- tulokohta kaistalle (tasainen jakauma kaistan leveyden mukaan).

Kuvan 5 konfliktien määrät perustuvat liitteessä 1 olevaan taulukkoon. Taulukossa jokaisen rivin mukaista liikennemäärää on erikseen simuloitu 30 kertaa ( $30 \cdot 25 = 750$  simulointia). Konfliktien lukumäärä kullakin rivillä on kolmestakymmenestä simulointikerasta laskettu keskiarvo. Kuvassa ”ohjauksen muutos” tarkoittaa, että alus törmäisi risteävään alukseen jollei kurssia tai nopeutta muutettaisi. ”Läheltä piti -tilanne” tarkoittaa, että risteävien alusten ohittaessa toinen kriittisistä rajoista, 30 tai 180 sekuntia, alittuu.

Liitteen taulukon konfliktien määrien perusteella on esimerkin omaisesti hahmoteltu risteävän liikenteen riskitaso 5 eri luokaan. Perusriskitasolta voisi ajatella siirryttävän seuraavaksi ylemmälle tasolle, kun vähintään kerran on tehtävä kurssin tai nopeuden muutos, jotta törmäysuhka eliminoiduu. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan oteta vielä kantaa, miten riskitasot tulee määritellä. Aihetta on syytä käsitellä laajemmin asiantuntijapalaverissa.

Kun risteävälle alueelle tuleva liikenne normeerataan tuntiliikenteeksi saadaan riskitaso suoraan liitteen 1 kaltaisesta taulukosta. Taulukon muodostaminen vaatii paljon simulointeja, koska jokaisen suunnan liikennemäärien variaation lisäksi on varioitava alusten pituuksia tai pituusluokkia. Lisäksi suuren taulukon jokaisen rivin mukaisilla arvoilla simulointia tulisi toistaa kymmeniä kertoja, jotta riskitasoa kuvaava keskiarvo vakiintuisi riittävän tarkalle tasolle.



Kuva 5. Konfliktien määrä, kun tuntiliikennemäärä kasvaa 1 aluksella/suunta.



Riskitason voi myös laskea seuraavasta riskitasoa kuvaavasta funktiosta:

(1) Riskitaso =  $f(L_1, L_2, L_3, L_4, P_{11}, \dots, P_{4n})$ , jossa

- $L_1$  tuntiliikennemäärä itään,
- $L_2$  tuntiliikennemäärä länteen,
- $L_3$  tuntiliikennemäärä pohjoiseen,
- $L_4$  tuntiliikennemäärä etelään,
- $P_{11}$  alusten lkm itään pituusluokassa 1
- :
- $P_{1n}$  alusten lkm itään pituusluokassa n
- $P_{21}$  alusten lkm länteen pituusluokassa 1
- :
- $P_{2n}$  alusten lkm itään pituusluokassa n
- $P_{31}$  alusten lkm itään pituusluokassa 1
- :
- $P_{3n}$  alusten lkm itään pituusluokassa n
- $P_{31}$  alusten lkm itään pituusluokassa 1
- :
- $P_{3n}$  alusten lkm itään pituusluokassa n
- $P_{41}$  alusten lkm itään pituusluokassa 1
- :
- $P_{4n}$  alusten lkm itään pituusluokassa n

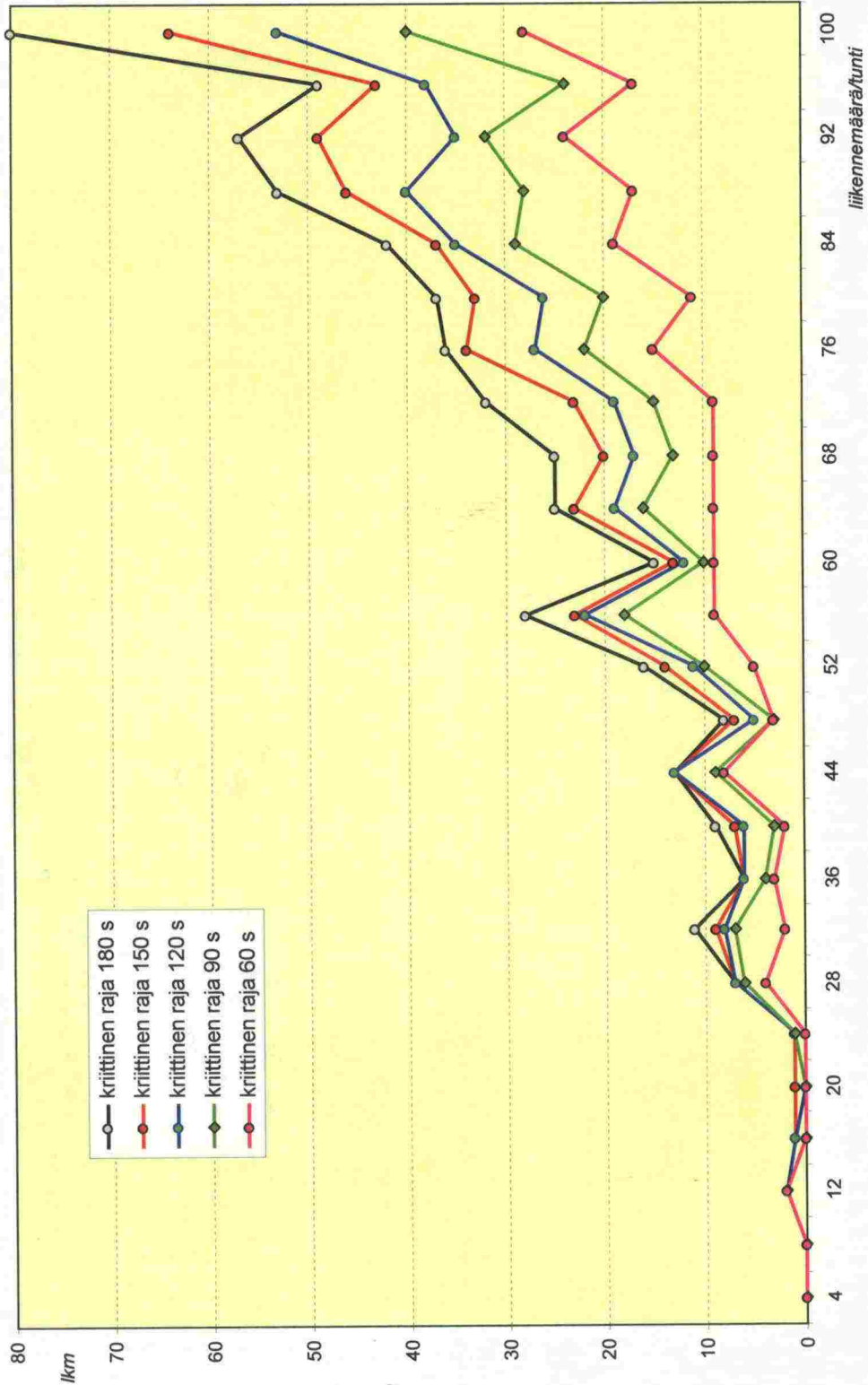
Funktion muuttujiin liittyvät kertoimet voi estimoida simuloinnilla tuotettavista tuloksista. Riskitason simuloinnin hyödyntäminen edellyttää, että GOFREP -järjestelmä tuottaa suunnan mukaista liikennemäärätietoa ja alusten pituustietoa.

Konfliktityypin 1 (risteävän aluksen ohitus sen keulan editse) kriittinen raja määriteltiin 180 sekunniksi. Kuvassa 6 on havainnollistettu konfliktityypin 1 herkkyyttä kriittisen rajan muutoksiin arvoilla 150, 120, 90 ja 60 sekuntia. Jokaista kriittistä arvoa kohti simulointeja on tehty vain yksi kierros, joten kuvaajiin liittyy enemmän satunnaisuutta kuin kuvan 5 kuvaajiin.

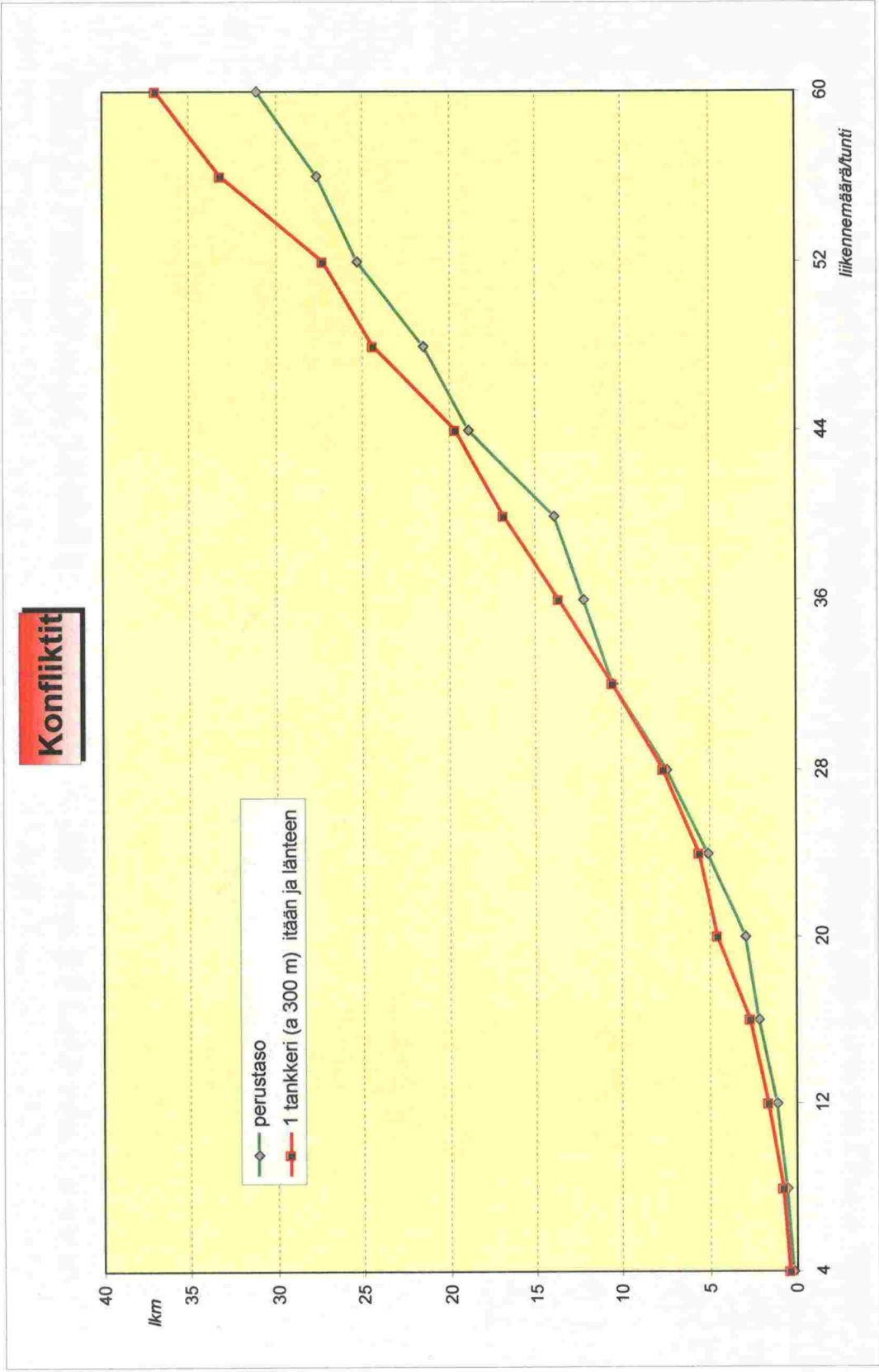
Kuvassa 7 on havainnollistettu tilannetta, jossa on lisätty yksi 300 metrin öljytankkeri sekä itä-että länsisuuntaiseen liikenteeseen. Kuvassa 8 on vastaava tilanne, kun itä-länsisuuntaiseen liikenteeseen on lisätty kaksi vastaavan pituista tankkeria. Jokaista liikennemäärää kohti simulointeja on toistettu 30 kertaa.

Kuvien perustana olevien konfliktilukujen mukaan yhden ja kahden tankkeriparin lisäys näyttää kasvattavan konfliktien määrää siten, että pienillä liikennemäärillä suhteellinen kasvu on suurin. Esimerkiksi liikennemäärillä 4–14 alusta/tunti konfliktien määrän kasvu on 40–100 %.

# Konfliktityyppi 1

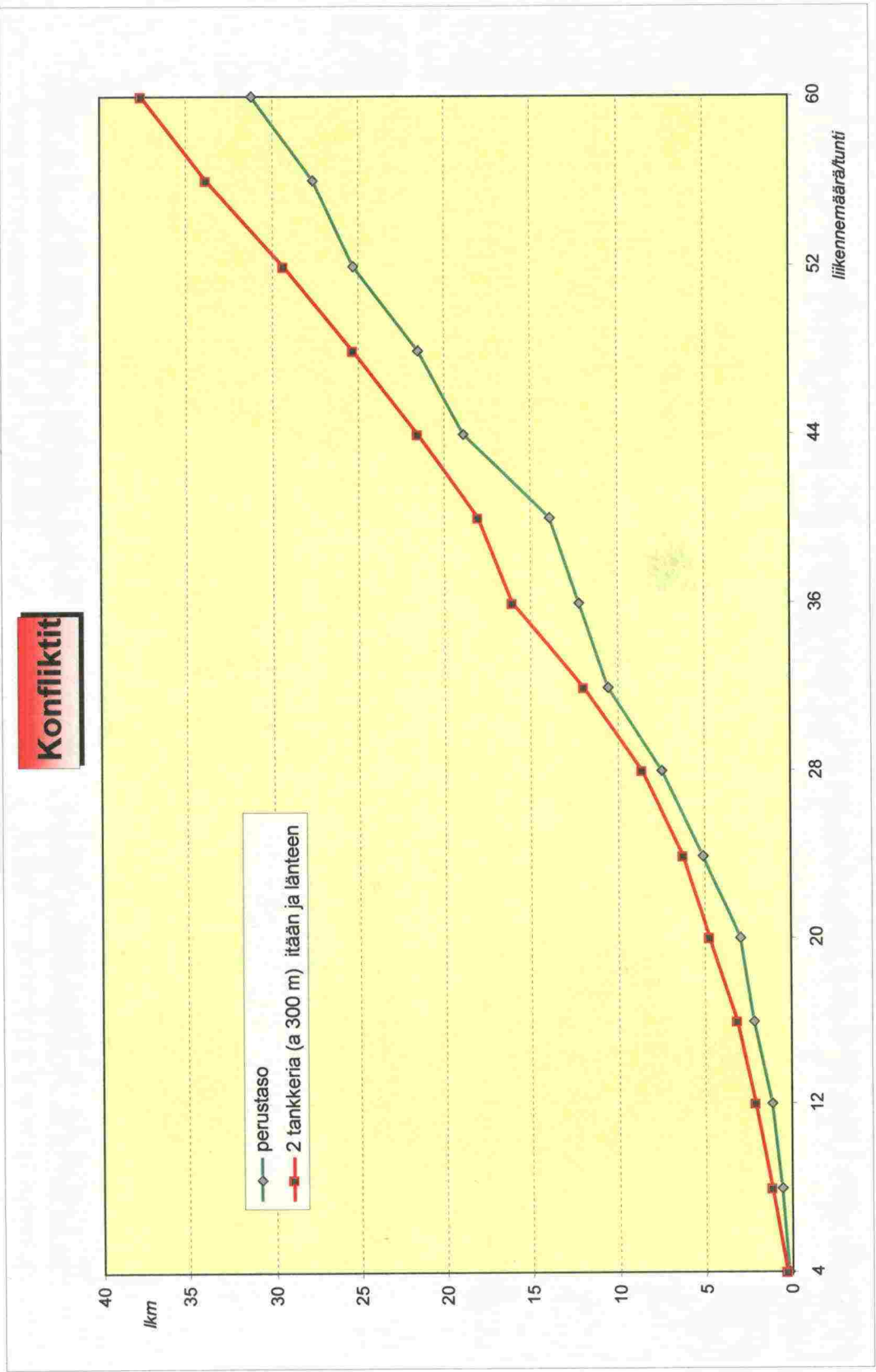


Kuva 6. Konfliktityyppi 1:n määrä, kun kriittinen arvo muuttuu 180 sekunnista 60 sekuntiin.



Kuva 7. Konfliktien määrä, kun itään ja länteen menevää liikennettä kasvatetaan 1 tankkerilla (á 300 m) kumpaankin suuntaan.





Kuva 8. Konfliktien määrä, kun itään ja länteen menevää liikennettä kasvatetaan 2 tankkerilla (ä 300 m) kumpaankin suuntaan.

## 6 Johtopäätökset

### 6.1 Yleistä

Hankkeen tavoitteena on ollut käynnistää Suomenlahden riski-indikaattorin kehittäminen. Riski-indikaattori tulee kattamaan koko Suomenlahden meriliikenteen ja indikaattori on tarkoitus integroida käyttöön otettuun Suomenlahden meriliikenteen GOFREP-järjestelmään.

Nyt esillä olevassa ensimmäisessä vaiheessa on rakennettu Suomenlahden risteävää liikennettä kuvaava *simulointimalli*, jota voidaan käyttää *strategisena työkaluna* selvittäessä riskitason muutosta, kun liikenteen keskeiset tekijät muuttuvat. Simulointimalia käytetään säädettäessä risteävän liikenteen riski-indikaattorin perustaso sekä kasvavaa riskiä kuvaavan indikaattorin suhteellinen asteikko.

Turvallisuuden kehitystyö edellyttää yhteistyötä Suomenlahden alueen maiden välillä.

Riskin kasvaessa sen tulisi heijastua myös GOFREP-järjestelmässä toimiviin osapuoliin. Meriliikennekeskusten, alusten päälliköiden, ympäristö- ja satamaviranomaisten tulisi *reaaliaikaisesti tiedostaa milloin liikennöinti tapahtuu korkeamman riskin vallitessa*.

Pääpiirteissään mallin toimintaperiaate on seuraava. Malliin generoidaan liikenne erikseen jokaiseen suunnan alkuun: itään, länteen, pohjoiseen tai etelään. Aikajaksoksi voidaan valita mikä ajanjakso hyvänsä, esimerkiksi tuntiliikenne. Malliin voidaan syöttää myös aikataulun mukaan liikennöivät alukset. Jokaiseen alukseen liittyy seuraavat lähötiedot:

- tuloaika (päivän nro, tunti, minuutti, sekunti),
- aluksen kulkema reitti,
- aluksen pituus,
- tulokohta väyläosalle ja
- nopeus.

Aluksen saapuessa risteysalueen rajalle sen navigoimaa reittiä verrataan erikseen jokaisen jo risteysalueella olevan muun aluksen reittiin. Näille vertailupareille lasketaan reitien risteyskohta ja ajat, jolloin kummankin aluksen keula on risteyskohdassa. Samoin lasketaan alusten pituuksista riippuvat ajat, jolloin aluksen perä on ohittanut risteyskohdan. Tilanteeseen liittyy kaksi määriteltävää konfliktia:

- alus törmää toisen aluksen kylkeen (ellei kurssin tai nopeuden muutosta tehdä),
- risteävien alusten ohituksen aikaväli on alle kriittisen rajan, ns. läheltä piti -tilanne, joka reaaliliikenteessä edellyttää kurssin tai nopeuden muutoksen.

Konfliktitilanteiden lukumäärällä on positiivinen riippuvuus todellisten onnettomuuksien määrän kanssa. Riskiteorian mukaan mitä enemmän läheltä piti -tilanteita esiintyy sitä suurempi on myös onnettomuuksien määrä pitkällä aikavälillä.

VTT:n ennusteen mukaan vuoteen 2010 mennessä keskimääräinen kauppa-aluskäyntien lukumäärä Suomenlahdella kasvaisi 107 käynnistä lähes 150 käyntiin vuorokaudessa. Tallinnan satama on arvioinut aluskäyntien kasvavan satamissaan vuoden 2004 noin 13 000 käynnistä 16 000 käyntiin vuoteen 2010 mennessä. Tämä merkitsee noin 23 %:n kasvua vuoden 2004 tasolta.

Matkustajaliikenteestä johtuen aluskäyntejä vuorokaudessa on avoveden aikaan enemmän kuin jäätalven aikana. Tallinnan satamissa koko vuoden keskimääräinen aluskäyntien määrä on 36 käyntiä, kun avoveden aikaan käyntejä on noin 50 käyntiä.

Työssä on esimerkin omaisesti hahmoteltu risteävän liikenteen riskitaso 5 eri luokaan. Perusriskitasolta voisi ajatella siirryttävän seuraavaksi ylemmälle tasolle, kun vähintään kerran on tehtävä kurssin tai nopeuden muutos, jotta törmäysuhka eliminoiduu. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan oteta vielä kantaa, miten riskitasot tulee määritellä. Aihetta tullaan käsittelemään laajemmin asiantuntijapalavereissa.

Simuloinnilla selvitettiin tapausta, jossa pitkästäliikennettä kasvatettiin yhdellä ja kahdella 300 m:n tankkerilla/suunta. Lisäys näytti kasvattavan konfliktien määrää siten, että pienillä liikennemäärillä prosentuaalinen kasvu oli suurin. Esimerkiksi perusliikennemäärillä 4-14 alusta/tunti konfliktien määrän kasvu on 40 - 100 %.

Kun risteävälle alueelle tuleva liikenne normeerataan tuntiliikenteeksi saadaan riskitaso suoraan simulointien tulosten taulukosta. Riskitason voi myös laskea suoraan riskitasoa kuvaavasta funktiosta. Funktion muuttujiin liittyvät kertoimet voidaan estimoida simuloinnilla tuotettavista tuloksista. Simulointitulosten reaaliaikainen hyödyntäminen edellyttää, että liikenteen ohjausjärjestelmät tuottavat liikennemäärä- sekä alusten nopeus- ja pituustietoa.

## **6.2 Jatkotoimenpiteet**

Vaiheeseen kaksi suunnitellut jatkokehitystehtävät sisältävät infrastruktuuriominaisuuksien ja alusteknisten ominaisuuksien lisäämisen riski-indikaattoriin. Kohti IWRIS® -teknologiaa tähtäävä toisen vaiheen kehitystyö voidaan jakaa kolmeen osaan: menetelmäkehitys, sovellus ja demonstraatio.



### 6.2.1 Menetelmäkehitys

a) Riskitason määrittelevien keskeisimpien tekijöiden huomioiminen riskitason laskennassa. Näitä tekijöitä ovat

- alustyyppi,
- tulokulma risteysalueelle ja
- näkyvyys (näkyvyys otettaneen huomioon liikennetiheyden jakautumisena pimeän/sumuisen ja valoisan ajan välillä).

b) Samaan suuntaan, mutta eri nopeudella liikkuvien aluksien ohitusmäärä kaistalla. Tämä indikoi riskiä sivuttais- ja perään törmäyksille kaistajakoalueilla.

### 6.2.2 Sovellus

Aikatahdistetun liikenteen riskitasojen laskenta todelliseen historiatietoon (AIS<sup>4</sup> -tieto) perustuen valituilla Suomenlahden risteysalueilla. Menetelmäkehityksen painopiste tulee suunnata todellisen liikennekuvan ja merkityksellisimmiksi koettujen riskitekijöiden mukaisesti.

### 6.2.3 Demonstraatio

Järjestetään meriliikenteen ohjauksen asiantuntijoille palautteen saamiseksi.

### 6.2.4 Kommentteja jatkotoimenpiteisiin

Konfliktitilanteiden määritystapa poikkeaa olemassa olevista liikennevirtojen simulointimalleista (vrt. GRACAT<sup>5</sup>) ja mahdollistaa tulokulman huomioimisen riskitason laskennassa lisäsimuloinnilla (esim. oletetaan tulokulman korreloivan risteysalueen leikkauspisteen kanssa siten, että pysytään 'solun' sisällä).

Aikatahdistus on piirre, jota ei ole GRACAT-ohjelmassa.

Aikatahdistetun liikenteen riskitasojen laskentaa on mahdollista kehittää kohti reaaliaikaista liikenteen riskitason monitorointitoimintoa valituilla kohtaamisalueilla. Näin ollen RILIRIS:ä voidaan kehittää kohti operatiivista päätöksenteon työkalua. Vaikka se onkin ensi sijaisesti suunniteltu strategisen suunnittelun työkaluksi, jolla selvitetään

---

<sup>4</sup> Automatic ship Identification System

<sup>5</sup> Grounding and Collision Analysis Toolbox



risteävän liikenteen riskitason vaihtelua liikenneturvallisuuden keskeisten tekijöiden, varsinkin liikennetiheys, muuttuessa.

Mikäli kohtaamisruudun sijainti pystytään dynaamisesti määrittämään alusten reaaliaikaiseen paikkatietoon perustuen, voidaan RILIRIS -työkalua soveltaa laajemmin koko Suomenlahden kattavana VTS-ohjaustoiminnan tukena. Tällainen paikanmääritysteknologia on spesifioitu ja rekisteröity IWRIS® -nimellä. RILIRIS on ollut kehitystyön ensimmäinen vaihe kohti reaaliaikaista IWRIS® -meriliikenteen riski-indikaattorijärjestelmää.

## Lähdeluettelo

- [1] VTT 2004. Oil transportation and terminal development in the Gulf of Finland, Espoo 2004. VTT Publications 547.
- [2] Micro Saint 4.0, Micro Saint & Design Simulation Software Inc.
- [3] VTT 2002. Suomenlahden alusliikenteen ohjaus- ja informaatiojärjestelmän esisimulointi. Tutkimusselostus Nro TUO34-021653.

# RISTEÄVÄN LIIKENTEEN KONFLIKTIEN MÄÄRÄ LIIKENTEEN KASVA- ESSA

Liikennemäärä/tunti					Konfliktien lkm						
itään	länteen	pohjoiseen	etelään	yht.	K1	K2	K3	K4	K1+K2	K3+K4	yht.
1	1	1	1	4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2
2	2	2	2	8	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,5	0,5
3	3	3	3	12	0,1	0,1	1,0	0,0	0,1	1,0	1,1
4	4	4	4	16	0,3	0,2	1,2	0,5	0,5	1,7	2,2
5	5	5	5	20	0,2	0,2	2,1	0,4	0,4	2,5	2,9
6	6	6	6	24	0,3	0,5	3,3	0,9	0,9	4,2	5,0
7	7	7	7	28	0,7	0,3	5,3	1,0	1,1	6,3	7,4
8	8	8	8	32	1,1	0,9	7,1	1,4	2,0	8,5	10,5
9	9	9	9	36	1,3	1,1	8,0	1,7	2,4	9,7	12,2
10	10	10	10	40	1,0	1,2	9,5	2,1	2,2	11,7	13,9
11	11	11	11	44	1,2	1,1	13,5	3,0	2,3	16,5	18,8
12	12	12	12	48	1,7	1,8	14,8	3,2	3,5	18,0	21,5
13	13	13	13	52	2,4	2,2	17,7	3,0	4,6	20,7	25,3
14	14	14	14	56	2,5	2,1	19,3	3,8	4,6	23,1	27,6
15	15	15	15	60	1,8	2,5	22,3	4,5	4,3	26,9	31,1
16	16	16	16	64	3,8	2,2	25,1	4,6	6,0	29,7	35,7
17	17	17	17	68	3,7	2,6	31,0	6,5	6,2	37,5	43,7
18	18	18	18	72	3,7	3,5	33,7	6,8	7,1	40,6	47,7
19	19	19	19	76	3,8	4,4	37,7	7,2	8,2	44,9	53,1
20	20	20	20	80	5,0	4,2	41,5	7,6	9,2	49,1	58,3
21	21	21	21	84	5,4	5,7	45,8	9,3	11,2	55,1	66,3
22	22	22	22	88	5,4	4,5	52,2	10,6	9,8	62,8	72,7
23	23	23	23	92	6,4	6,1	56,6	12,1	12,5	68,7	81,1
24	24	24	24	96	6,7	5,9	60,2	12,5	12,6	72,7	85,3
25	25	25	25	100	7,6	7,5	69,2	14,6	15,0	83,9	98,9

- K1 ohjauksen muutos, muuten törmäys risteävän aluksen kanssa,
- K2 ohjauksen muutos, muutoin risteävä alus törmää,
- K3 ohitus liian läheltä risteävän aluksen keulaa,
- K4 ohitus liian läheltä risteävän aluksen taitse.

